

呼吸・光合成量測定のための簡易装置の開発

The development of the measuring equipment on the quantity of respiration and photosynthesis

井口 智文, 山本 千帆*

INOKUCHI Tomofumi, YAMAMOTO Chiho

In this study, the equipment for being able to measure quantity of respiration and photosynthesis was developed. By using this equipment, the result that a photosynthetic rate and respiration rate were constant under certain condition was obtained. Therefore, it became clear for this equipment to be applicable to the experiment of fundamental photosynthesis and respiration. Furthermore, in the experiment conducted in a classroom of high school by using this equipment, it was found that high school students can use this equipment easily and can take out the suitable experimental result. And it was confirmed also that the planned experiment could finish within school hours. From the above results, it is thought that the very effective experimental equipment was completed in this study.

Key word: respiration, photosynthesis, development of measuring equipment

はじめに

呼吸や光合成は、小学校から高等学校まで幅広く扱われる内容であり、呼吸や光合成に関する実験が多数教科書に記載されている。中学校までの教科書では、光合成については、石灰水や気体検知管を用いて植物が二酸化炭素を吸収し、酸素を放出することを調べる方法が取り上げられている^{1,2)}。一方、呼吸については、実際に呼気を採集し二酸化炭素の割合が実験前の空気に比べて増加していることを石化水や気体検知管を用いて調べる実験がその代表である^{3,4)}。このように、呼吸や光合成によって発生（吸収）する気体についての実験は、小・中学校では定性的なものが中心である。一方、高等学校の生物の教科書には、定量に近い実験（光合成で発生する気泡数を計測する方法^{5,6)}、水中に沈めた葉が浮揚する方法⁷⁾）が記載されている。しかし、呼吸や光合成のガス交換に関する正確な定量的実験を行うためには、一般に、高価で操作の難しい機器、または原理の複雑な機器が必要であり、このような装置を学校現場に導入することは困難だと思われる。また、高等学校理科教員に「呼吸・光合成の定量的実験を授業で行ったことがあるか」と尋ねたところ、「実験はしたことがないが、原理は説明したことがある。」や「時間がないので実験をほとんど行えない。」といった回答を得た。つまり、学校現場に呼吸や光合成のガス量測定実験を導入するには、短時間かつ容易に行える実験装置が必要であると考えた。そこで本研究では正確な定量的実験が行え、短時間で容易に実験が可能なガス量測定装置を開発することを目的とした。さらに、授業実践での検討もあわせて行った。

*平成22年度修論生

材料および方法

材料

呼吸量測定には、遮光環境で2～3日吸水させたダイズ (*Glycine max*) 種子20個、あるいはキヌサヤエンドウ (*Pisum sativum*) 種子40個を試料として用いた。反応容器には、呼吸により放出したCO₂を吸収する目的で20%水酸化カリウム溶液0.5mLをしみ込ませたろ紙も一緒に入れた⁸⁾。

一方、光合成量測定には、オオカナダモ (*Egeria densa*)、カボンバ (*Cabomb caroliniana*)、ロターラワリッキー (*Rotala vallichii*) の3種の水草を試料として用いた。1.0%炭酸水素ナトリウム水溶液をガラス管に触れないくらいの高さまで(約200mL)、測定装置の二つの容器 (Fig.1) に同量入れ、反応容器には試料を3本入れた。なお、炭酸水素ナトリウムは水中のCO₂濃度を上げるために使用した^{5,9)}。

測定方法

完成したガス量測定装置 (Fig.1) の一方の容器に試料入れ、もう一方の容器には試料は入れず対象容器とした。ピストンを引いた状態の注射器を対象容器の所定の位置に接続した。両容器の接続用のガラス管のほぼ中央部に液滴(水)をいれガラス管を両容器と接続した。装置全ての接続が終わった後、液滴の位置に線を引き定線とした (Fig.1 A 矢印)。測定開始より一定時間後に (5分間隔)、注射器ピストンを動かし、ガラス管内の動いた液滴を定線に戻した。その後、動かしたピストンの位置の注射器の目盛を読むことにより、気体の発生(吸収)量 (mL) を測定した。

なお、呼吸量、光合成量どちらの測定も室温でおこなった。また、呼吸量測定の場合は容器をアルミホイルで覆うなどして遮光して行った。光合成測定の場合、光源装置 (D21-7124:ナリカ) を使用し、実験室の天井灯は点灯した状態で測定を行った。

光の強さを変化させたときの光合成量の変化

測定試料であるオオカナダモは2本使用した。光源装置を1つ用い、容器との距離を5 cm, 10 cm, 20 cm, 光源装置なしの条件で測定を行った。

簡易ガス量測定装置での授業実践

栃木県立A高等学校(定時制3年)の2クラス(クラスの人数は両クラスとも9名)を対象に、簡易ガス量測定装置を用いて呼吸量と光合成量の測定を2日間に分け行った。事前に基本的な呼吸・光合成について確認し、実験後にはアンケートを実施した。

・授業の流れ

〈1日目：光合成量の測定〉

光合成についての確認(5分)、実験装置操作・実験手順の説明(板書)(5分)、測定(20分)、まとめ(10分)、実験を通しての感想を用紙に記入(5分)。測定中にアンケートの記入を行った。

〈2日目：呼吸量測定〉

呼吸についての確認(5分)、実験装置操作・実験手順の説明(板書)(5分)、測定(20分)、まとめ(5分)、実験を通しての感想を用紙に記入(10分)。

なお、両日とも、測定を行う前に、液滴がどちらに動くか予想をさせ自由に発言させた。

結果

簡易ガス量測定装置

本研究により様々な試作と実験を重ねた結果、同じ容量のクリア容器2つを利用した実験装置を開発した (Fig.1 A)。測定容器は光の透過が良い材質ものを選び、水酸化カリウム溶液をしみ込ませたろ紙と試料が触れない状態で試料を入れることができ、試料の出し入れも簡単に行うためにフタの大きなものを採用した。2つのクリア容器側面に工具用ドリルで直径6 mmの穴をあけ、容器の外側と内側にガラス管の外径より小さめの穴をあけた厚さ1 mm程度の薄いゴム膜を接着剤で貼り、液滴 (水) の入った外径5 mm内径3 mm ガラス管を接続した (Fig.1 B)。なお、容器下部とフタのかみ合わせが悪い場合は、パラフィルムを巻き付け、空気もれを防いだ。また、測定する試料の種類や個体差に応じて、注射器の取り外しや交換が簡単にできるように、クリア容器の1つのフタに使い捨て注射針の針の部分の部分を切断し根元部分を接着した (Fig.1 C)。

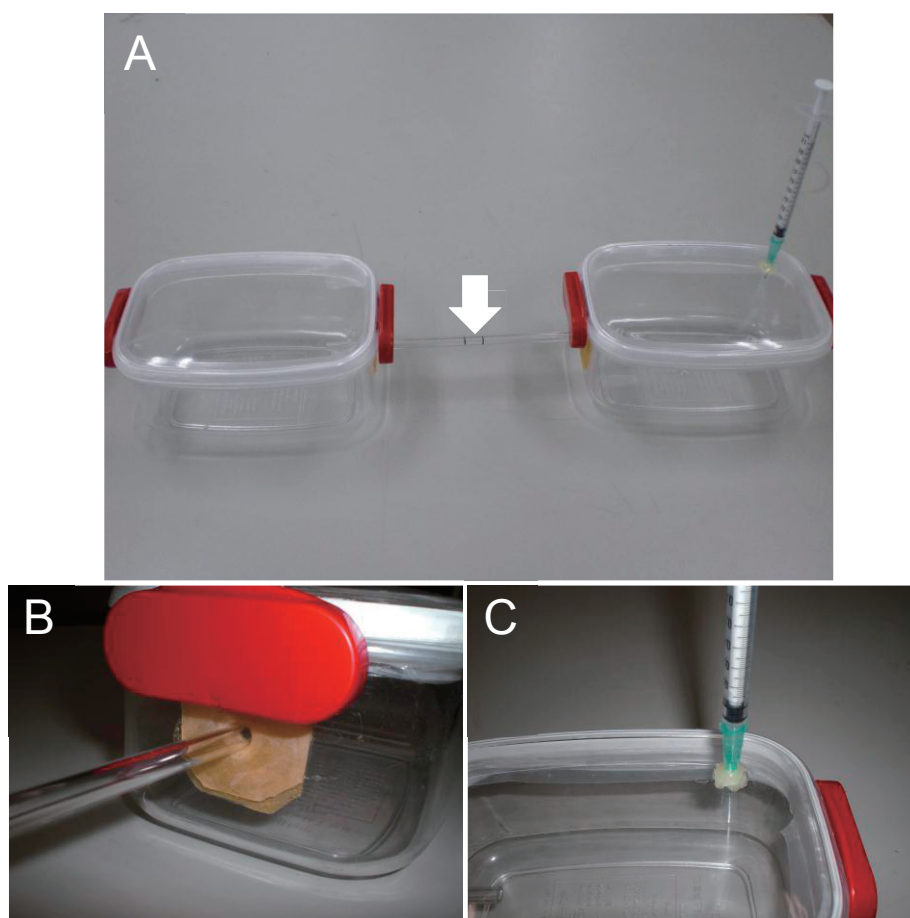


Fig.1 Measuring equipment developed in this study
 A : Overview of the measuring equipment
 B : A connection section with the glass tube
 C : A connection section with the syringe

簡易ガス量測定装置を用いた測定

・呼吸量測定

ダイズ、キヌサヤとともに各時間（5分間隔）での測定値がほぼ一定となった。それぞれの時間での積算値をプロットしグラフを作成すると直線となり、一定の速度で酸素を吸収しているという結果が得られた（Fig.2）。種子1個あたりの呼吸速度を計算すると、ダイズは $4.4 \mu\text{L}/\text{分}$ 、キヌサヤは $1.2 \mu\text{L}/\text{分}$ であった。

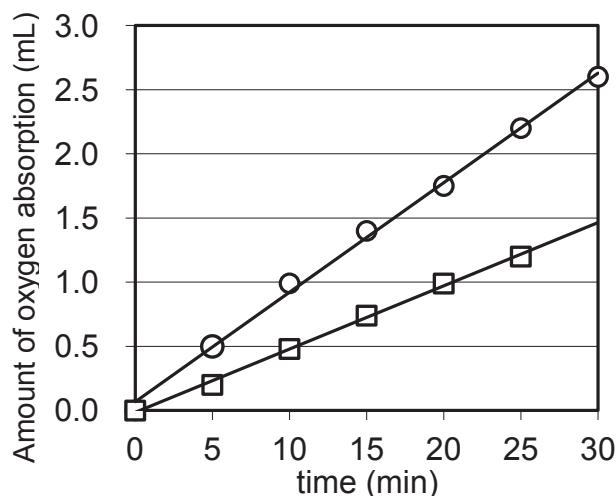


Fig.2 Result of a measurement of the quantity of respiration

○: *Glycine max* □: *Pisum sativum*

・光合成量測定

オオカナダモ、カボンバ、ロターラワリッキーとともに各時間での測定値がほぼ一定となった。それぞれの時間での積算値をプロットしグラフを作成すると直線となり、ほぼ一定の速度で気体が発生しているという結果が得られた（Fig.3）。

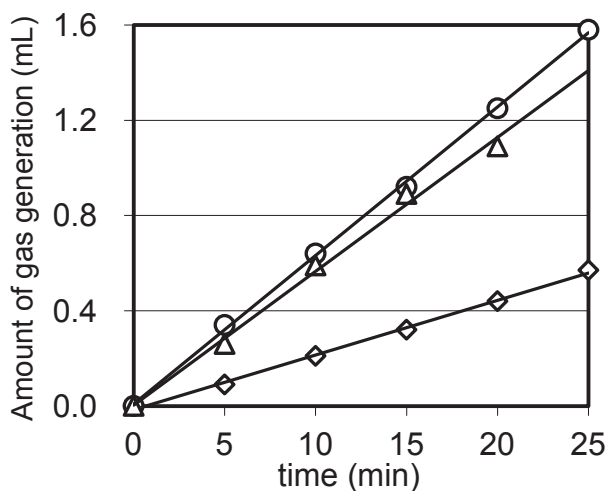


Fig.3 Result of a measurement of the quantity of photosynthesis

○: *Egeria densa* ; △: *Rotala vallichii* ; ◇: *Cabomb caroliniana*

・ 光の強さを变化させたときの光合成量の変化

光源装置との距離が5, 10, 20 cm及び光源装置なしの場合で測定を行い, グラフを作成すると, それぞれ直線を示す結果が得られた。得られた直線の傾きを比べてみると, 5, 10, 20 cmと光源装置との距離を離していくにつれ傾きの値が小さくなった。また, 20 cmと光源装置なしではほとんど同じ値となった (Fig.4)。

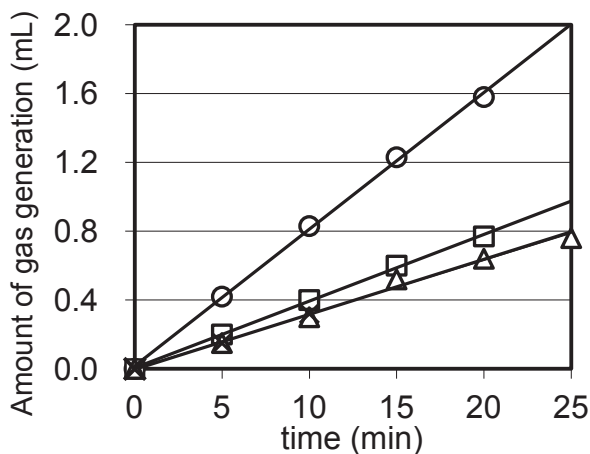


Fig.4 Relations with strength of the light and the quantity of photosynthesis
Distance from light source; ○ : 5 cm □ : 10 cm △ : 20 cm
× : without the light source

簡易ガス量測定装置を用いた授業実践

作成した装置を用いた実験を導入した授業は大きな問題もなく, 計画通りに行うことができた。授業実践で得られた測定値よりグラフを作成した結果 (Fig.5), 呼吸による酸素吸収量, 光合成による気体の発生量はどちらのクラスの測定でもほぼ一定であるという結果が得られた。装置の操作性について「操作についての難易度はどうでしたか。」というアンケートの設問に, 「簡単だった」10名, 「やや簡単だった」1名, 「普通」3名, 「難しかった」1名, 無回答が3名という結果を得た。装置難易度の理由や気付いたことを自由に記述してもらったところ, 「操作が簡単だった」「簡単な操作で身のまわ

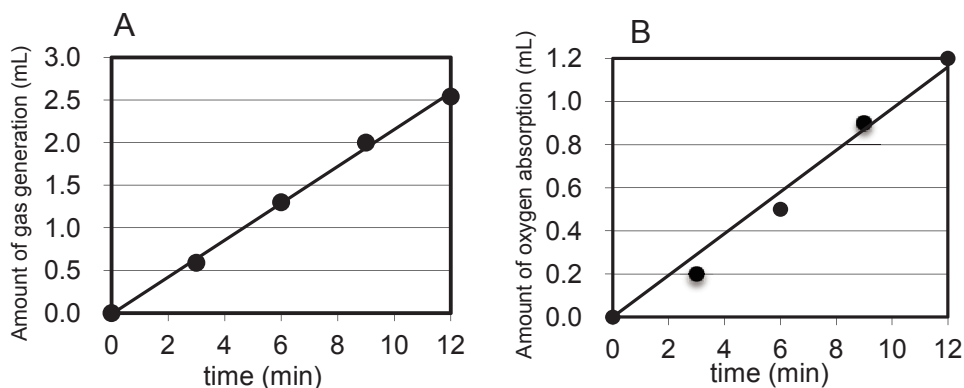


Fig.5 Result of a measurement by high school student
A : photosynthesis B : respiration

りにあるもので実験できることがわかった」「短時間で簡単だった」という、操作が簡単であるという意見を多く得ることができた。

呼吸量測定後に「実験を通しての感想」を自由に記述してもらったところ、「液滴の動きを通じて、マメが呼吸している様子が観察できた」「実験の方がわかりやすいと思った」という本装置を使用した実験を肯定的に捉えた意見を得ることができ、否定的な意見はなかった。また、光合成量測定 of の感想(自由記述)では、「数分で結構動いて、自分が想像したより動いた」「次は他の生物でやってみたい」という意見が得られた。

考察

高等学校「理科」の目標は「自然の事物・現象に対する関心や探究心を高め、目的意識をもって観察、実験などを行い、科学的に探究する能力と態度を育てるとともに自然の事物・現象についての理解を深め、科学的な自然観を育成する。」と高等学校学指導要領解説に明記されている¹⁰⁾。「観察・実験を行う」ことによって「科学的に探究する能力と態度」を育て、「自然の事物・現象についての理解」を深めることが求められている。つまり「理科」の学習にとって、実験や観察を積極的に行う必要がある。そして、光合成や呼吸の実験が高校授業ではあまり行われていないことが分かったので、学校現場で使用可能なガス量測定装置開発を目的とし本研究を行った。

ガス量測定装置は、測定容器と対象容器をつなげると測定装置は大気圧や温度の影響を受けにくいという長所を持つが、実験を継続するには二つの容器内の密度を同じにする必要がある^{11, 12)}。試行錯誤の結果、接続した注射器内のピストンを調節することにより容器内の密度をほぼ同じに保つことができる簡易ガス量測定装置を完成することができた(Fig.1)。

実際に呼吸量測定を行ったところ、ダイズ、キヌサヤエンドウのどちらも一定の速度で呼吸しているという結果が得られた(Fig.2)。同様に、光合成量測定でも使用した3種類の水草で、ほぼ一定の速度で光合成を行っているという結果が得られた(Fig.3)。呼吸量や光合成量を既製のプロダクトメーターなどで測定し、グラフを作成すると直線を描くことから^{8, 11, 13)}、今回作製した装置は呼吸量・光合成量ともに適正な測定ができることが分かった。

さらに、オオカナダモを用い、光源から測定装置の距離を変えることにより光量を変化させ、光合成量への影響を調べた。すると、5 cmの時に最も光合成量が多く、10, 20 cmと光源装置との距離を離していく、つまり光量が減少すると光合成量も減少するといった予想通りの実験結果が得られた。ただし、光源装置を20 cmまで離すと、光源装置なしの場合とほとんど差がみられなかった。これは、用いた光源装置では、20 cmまで測定装置から離してしまうと、光合成に影響を与えるほど光量が強くないためと考察した。

次に実際に高校生がこの装置を使用した実験が可能か調べるため、授業実践を行った。授業は予定通りに行うことができ、大学のように安定した状態でない高等学校の教室の測定でも、適正な測定結果を得ることができた(Fig.5)。さらに、アンケートの結果から、高校生にとって操作は簡単であることが確認できた。また、自由記述欄のコメントや、授業中の「すごい」「こんなに光合成しているんだ」と驚いた発言などから、生徒の自然現象に対する興味関心を少しは持たせることができたのではないかと考えており、本装置を使用した実験の導入の有効性を感じることができた。

本研究では、高等学校での使用を主とし、基礎的な実験の使用を中心に議論した。しかし、この装置は定量実験が可能ということではいろいろな条件での比較実験等、様々な実験に使用可能と考えられ

る。アイデアにより本装置を使用する様々な実験系が構築できることから、高校での使用に限らず、小・中学校の学習でも導入が可能であると考えている。

まとめ

本研究により、基本的な光合成、呼吸量測定のどちらも行え、定量的実験が可能で、かつ短時間で容易に実験が可能なガス量測定装置を作成することができた。実際の授業実践から、高校生でも簡単に操作できること、高等学校の教室での測定でも適正な実験結果を得られることが分かった。本装置は高等学校での使用を想定しているが、様々な実験に使用可能であり、小・中学校でも導入が可能と考えている。

謝辞

本研究のために、授業実践の場を提供いただいた高等学校の皆様感謝いたします。

文献

- 1) 竹内敬人 他, (2009) 未来へひろがるサイエンス 第2分野(上), 啓林館, pp. 29-30.
- 2) 戸田盛和 他, (2009) 新版 中学校理科 2分野上, 大日本図書, pp. 38-40.
- 3) 大隅良典 他, (2010) わくわく理科6, 啓林館, pp. 25-26.
- 4) 毛利衛 他, (2010) 新しい理科6, 東京書籍, pp. 25-26.
- 5) 毛利秀雄 他, (2009) 高等学校 生物 I, 三省堂, pp. 243-246.
- 6) 石原勝敏 他, (2009) 新版生物 I, 実教出版, pp. 263-264.
- 7) 石川統 他, (2009) 生物 I, 東京書籍, pp. 278-279.
- 8) 片山舒康 他, (1982) 科学教育研究, 3, pp. 120-125.
- 9) 藤野紋佳, (2010) 宇都宮大学卒業論文.
- 10) 文部科学省, (2009) 高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編, 実教出版, pp. 12.
- 11) 横浜康継 他, (1981) 遺伝, 35, pp. 22-27.
- 12) 降幡高志, (1994) 遺伝, 48, pp. 86-91.
- 13) 片山舒康 他, (1986) 遺伝, 40, pp. 22-26.

